13 | Redis 6.0多IO线程的效率提高了吗？

2021-08-24 蒋德钧

《Redis源码剖析与实战》 课程介绍 >

讲述：蒋德钧
时长 28:19 大小 25.93M

你好，我是蒋德钧。

通过上节课的学习，我们知道 Redis server 启动后的进程会以单线程的方式，执行客户端请求解析和处理工作。但是，Redis server 也会通过 bioInit 函数启动三个后台线程，来处理后台任务。也就是说，Redis 不再让主线程执行一些耗时操作，比如同步写、删除等，而是交给后台线程异步完成，从而避免了对主线程的阻塞。

实际上，在 2020 年 5 月推出的 Redis 6.0 版本中，Redis 在执行模型中还进一步使用了多线程来处理 IO 任务，这样设计的目的，就是为了充分利用当前服务器的多核特性，让多核运行多线程，让多线程帮助加速数据读取、命令解析以及数据写回的速度，提升 Redis 整体性能。

那么，这些多线程具体是在什么时候启动，又是通过什么方式来处理 IO 请求的呢？

今天这节课，我就来给你介绍下 Redis 6.0 实现的多 IO 线程机制。通过这部分内容的学习，你可以充分了解到 Redis 6.0 是如何通过多线程来提升 IO 请求处理效率的。这样你也就可以结合实际业务来评估，自己是否需要使用 Redis 6.0 了。

好，接下来，我们先来看下多 IO 线程的初始化。注意，因为我们之前课程中阅读的是 Redis 5.0.8 版本的代码，所以在开始学习今天的课程之前，你还需要下载Redis 6.0.15 的源码，以便能查看到和多 IO 线程机制相关的代码。

多 IO 线程的初始化

我在上一讲给你介绍过，Redis 5.0 中的三个后台线程，是 server 在初始化过程的最后，调用 InitSeverLast 函数，而 InitServerLast 函数再进一步调用 bioInit 函数来完成的。如果我们在 Redis 6.0 中查看 InitServerLast 函数，会发现和 Redis 5.0 相比，该函数在调完 bioInit 函数后，又调用了 **initThreadedIO 函数**。而 initThreadedIO 函数正是用来初始化多 IO 线程的，这部分的代码调用如下所示：

复制代码

```
void InitServerLast() {
    bioInit();
    initThreadedIO();  //调用initThreadedIO函数初始化IO线程
    set_jemalloc_bg_thread(server.jemalloc_bg_thread);
    server.initial_memory_usage = zmalloc_used_memory();
}
```

所以下面，我们就来看下 initThreadedIO 函数的主要执行流程，这个函数是在networking.c文件中实现的。

首先，initThreadedIO 函数会设置 IO 线程的激活标志。这个激活标志保存在 redisServer 结构体类型的全局变量 server 当中，对应 redisServer 结构体的成员变量 io_threads_active。initThreadedIO 函数会把 io_threads_active 初始化为 0，表示 IO 线程还没有被激活。这部分代码如下所示：

复制代码

```
void initThreadedIO(void) {
```

```
    server.io_threads_active = 0;
    …
}
```

这里，你要注意一下，刚才提到的**全局变量 server** 是 Redis server 运行时，用来保存各种全局信息的结构体变量。我在第 8 讲给你介绍 Redis server 初始化过程的时候，提到过 Redis server 的各种参数初始化配置，都是保存在这个全局变量 server 中的。所以，当你在阅读 Redis 源码时，如果在某个函数中看到变量 server，要知道其实就是这个全局变量。

紧接着，initThreadedIO 函数会对设置的 IO 线程数量进行判断。这个数量就是保存在全局变量 server 的成员变量 io_threads_num 中的。那么在这里，IO 线程的数量判断会有三种结果。

第一种，如果 IO 线程数量为 1，就表示只有 1 个主 IO 线程，initThreadedIO 函数就直接返回了。此时，Redis server 的 IO 线程和 Redis 6.0 之前的版本是相同的。

复制代码

```
if (server.io_threads_num == 1) return;
```

第二种，如果 IO 线程数量大于宏定义 IO_THREADS_MAX_NUM（默认值为 128），那么 initThreadedIO 函数会报错，并退出整个程序。

复制代码

```
if (server.io_threads_num > IO_THREADS_MAX_NUM) {
        …  //报错日志记录
        exit(1);  //退出程序
 }
```

第三种，如果 IO 线程数量大于 1，并且小于宏定义 IO_THREADS_MAX_NUM，那么，initThreadedIO 函数会执行一个循环流程，该流程的循环次数就是设置的 IO 线程数量。

如此一来，在该循环流程中，initThreadedIO 函数就会给以下四个数组进行初始化操作。

io_threads_list 数组：保存了每个 IO 线程要处理的客户端，将数组每个元素初始化为一个 List 类型的列表；

io_threads_pending 数组：保存等待每个 IO 线程处理的客户端个数；

io_threads_mutex 数组：保存线程互斥锁；

io_threads 数组：保存每个 IO 线程的描述符。

这四个数组的定义都在 networking.c 文件中，如下所示：

复制代码

```
pthread_t io_threads[IO_THREADS_MAX_NUM];    //记录线程描述符的数组
pthread_mutex_t io_threads_mutex[IO_THREADS_MAX_NUM];   //记录线程互斥锁的数组
_Atomic unsigned long io_threads_pending[IO_THREADS_MAX_NUM];   //记录线程待处理的
list *io_threads_list[IO_THREADS_MAX_NUM];   //记录线程对应处理的客户端
```

然后，在对这些数组进行初始化的同时，initThreadedIO 函数还会根据 IO 线程数量，**调用 pthread_create 函数创建相应数量的线程**。我在上节课给你介绍过，pthread_create 函数的参数包括创建线程要运行的函数和函数参数（*tidp、*attr、*start_routine、*arg）。

所以，对于 initThreadedIO 函数来说，它创建的线程要运行的函数是 **IOThreadMain**，参数是当前创建线程的编号。不过要注意的是，这个编号是从 1 开始的，编号为 0 的线程其实是运行 Redis server 主流程的主 IO 线程。

以下代码就展示了 initThreadedIO 函数对数组的初始化，以及创建 IO 线程的过程，你可以看下。

复制代码

```
for (int i = 0; i < server.io_threads_num; i++) {

        io_threads_list[i] = listCreate();
        if (i == 0) continue; //编号为0的线程是主IO线程

        pthread_t tid;
        pthread_mutex_init(&io_threads_mutex[i],NULL);  //初始化io_threads_mute
        io_threads_pending[i] = 0;    //初始化io_threads_pending数组
        pthread_mutex_lock(&io_threads_mutex[i]);
        //调用pthread_create函数创建IO线程，线程运行函数为IOThreadMain
```

```
        if (pthread_create(&tid,NULL,IOThreadMain,(void*)(long)i) != 0) {
            … //出错处理
        }
        io_threads[i] = tid;  //初始化io_threads数组，设置值为线程标识
    }
```

好了，现在我们再来看下，刚才介绍的 IO 线程启动后要运行的函数 IOThreadMain。了解这个函数，可以帮助我们掌握 IO 线程实际做的工作。

IO 线程的运行函数 IOThreadMain

IOThreadMain 函数也是在 networking.c 文件中定义的，它的主要执行逻辑是一个 **while(1) 循环**。在这个循环中，IOThreadMain 函数会把 io_threads_list 数组中，每个 IO 线程对应的列表读取出来。

就像我在前面给你介绍的一样，io_threads_list 数组中会针对每个 IO 线程，使用一个列表记录该线程要处理的客户端。所以，IOThreadMain 函数就会从每个 IO 线程对应的列表中，进一步取出要处理的客户端，然后判断线程要执行的操作标记。这个操作标记是用变量 io_threads_op 表示的，它有两种取值。

io_threads_op 的值为宏定义 IO_THREADS_OP_WRITE：这表明该 IO 线程要做的是写操作，线程会调用 writeToClient 函数将数据写回客户端。

io_threads_op 的值为宏定义 IO_THREADS_OP_READ：这表明该 IO 线程要做的是读操作，线程会调用 readQueryFromClient 函数从客户端读取数据。

这部分的代码逻辑你可以看看下面的代码。

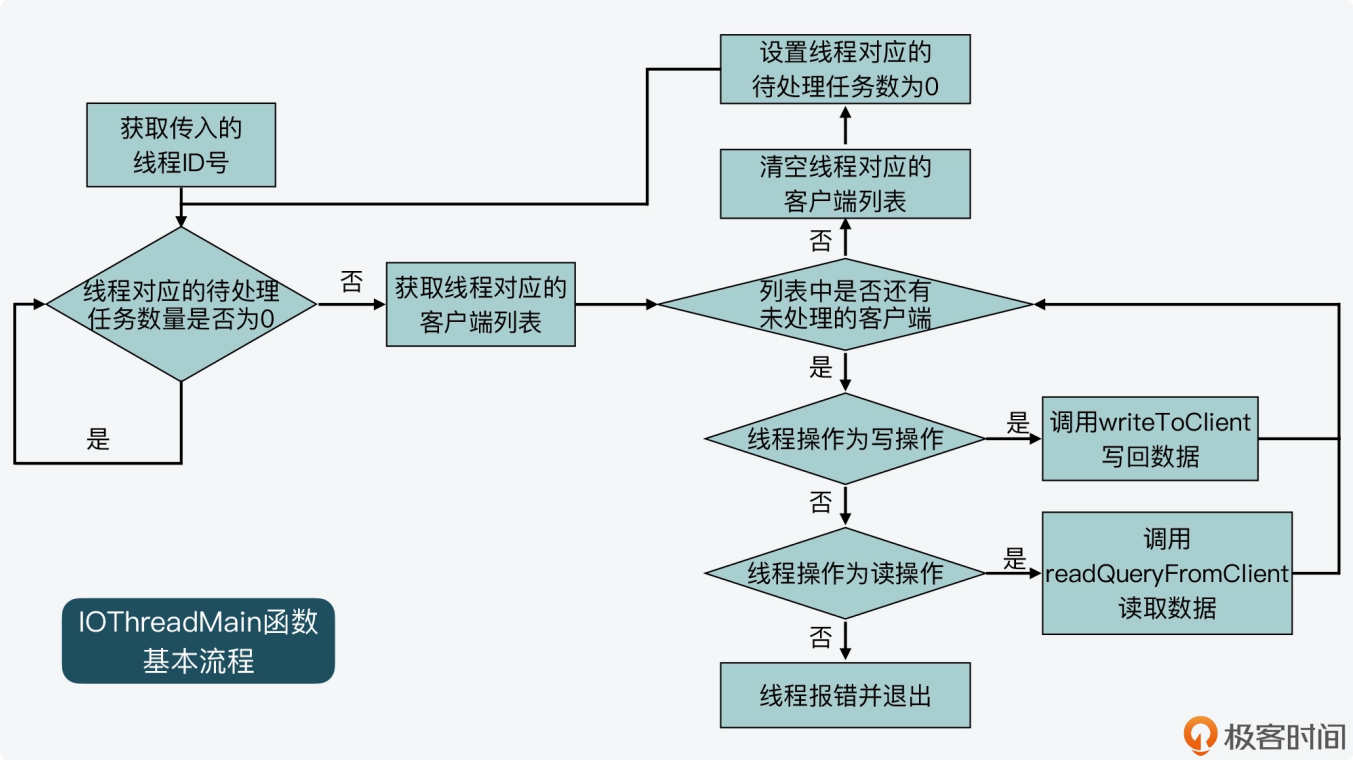
复制代码

```
void *IOThreadMain(void *myid) {
…
while(1) {
    listIter li;
    listNode *ln;
    //获取IO线程要处理的客户端列表
    listRewind(io_threads_list[id],&li);
    while((ln = listNext(&li))) {
        client *c = listNodeValue(ln); //从客户端列表中获取一个客户端
        if (io_threads_op == IO_THREADS_OP_WRITE) {
            writeToClient(c,0);  //如果线程操作是写操作，则调用writeToClient将数据写回客
        } else if (io_threads_op == IO_THREADS_OP_READ) {
```

```
            readQueryFromClient(c->conn); //如果线程操作是读操作，则调用readQueryFrom
        } else {
            serverPanic("io_threads_op value is unknown");
        }
    }
    listEmpty(io_threads_list[id]); //处理完所有客户端后，清空该线程的客户端列表
    io_threads_pending[id] = 0; //将该线程的待处理任务数量设置为0

    }
}
```

我也画了下面这张图，展示了 IOThreadMain 函数的基本流程，你可以看下。



好了，到这里你应该就了解了，每一个 IO 线程运行时，都会不断检查是否有等待它处理的客户端。如果有，就根据操作类型，从客户端读取数据或是将数据写回客户端。你可以看到，这些操作都是 Redis 要和客户端完成的 IO 操作，所以，这也是为什么我们把这些线程称为 IO 线程的原因。

那么，你看到这里，可能也会产生一些疑问，**IO 线程要处理的客户端是如何添加到 io_threads_list 数组中的呢？**

这就要说到 Redis server 对应的全局变量 server 了。server 变量中有两个 List 类型的成员变量：clients_pending_write 和 clients_pending_read，它们分别记录了待写回数据

的客户端和待读取数据的客户端，如下所示：

```
struct redisServer {
...
list *clients_pending_write;  //待写回数据的客户端
list *clients_pending_read;  //待读取数据的客户端
...
}
```

你要知道，Redis server 在接收到客户端请求和给客户端返回数据的过程中，会根据一定条件，推迟客户端的读写操作，并分别把待读写的客户端保存到这两个列表中。然后，Redis server 在每次进入事件循环前，会再把列表中的客户端添加到 io_threads_list 数组中，交给 IO 线程进行处理。

所以接下来，我们就先来看下，Redis 是如何推迟客户端的读写操作，并把这些客户端添加到 clients_pending_write 和 clients_pending_read 这两个列表中的。

如何推迟客户端读操作？

Redis server 在和一个客户端建立连接后，就会开始监听这个客户端上的可读事件，而处理可读事件的回调函数是 **readQueryFromClient**。我在第 11 讲中给你介绍了这个过程，你可以再去回顾下。

那么这里，我们再来看下 Redis 6.0 版本中的 readQueryFromClient 函数。这个函数一开始会先从传入参数 conn 中获取客户端 c，紧接着就调用 postponeClientRead 函数，来判断是否推迟从客户端读取数据。这部分的执行逻辑如下所示：

```
void readQueryFromClient(connection *conn) {
    client *c = connGetPrivateData(conn);  //从连接数据结构中获取客户
    ...
    if (postponeClientRead(c)) return;  //判断是否推迟从客户端读取数据
    ...
}
```

现在，我们就来看下 **postponeClientRead 函数**的执行逻辑。这个函数会根据四个条件判断能否推迟从客户端读取数据。

条件一：全局变量 server 的 io_threads_active 值为 1

这表示多 IO 线程已经激活。我刚才说过，这个变量值在 initThreadedIO 函数中是会被初始化为 0 的，也就是说，多 IO 线程初始化后，默认还没有激活（我一会儿还会给你介绍这个变量值何时被设置为 1）。

条件二：全局变量 server 的 io_threads_do_read 值为 1

这表示多 IO 线程可以用于处理延后执行的客户端读操作。这个变量值是在 Redis 配置文件 redis.conf 中，通过配置项 io-threads-do-reads 设置的，默认值为 no，也就是说，多 IO 线程机制默认并不会用于客户端读操作。所以，如果你想用多 IO 线程处理客户端读操作，就需要把 io-threads-do-reads 配置项设为 yes。

条件三：ProcessingEventsWhileBlocked 变量值为 0

这表示 processEventsWhileBlokced 函数没有在执行。ProcessingEventsWhileBlocked 是一个全局变量，它会在 processEventsWhileBlokced 函数执行时被设置为 1，在 processEventsWhileBlokced 函数执行完成时被设置为 0。

而 processEventsWhileBlokced 函数是在networking.c文件中实现的。当 Redis 在读取 RDB 文件或是 AOF 文件时，这个函数会被调用，用来处理事件驱动框架捕获到的事件。这样就避免了因读取 RDB 或 AOF 文件造成 Redis 阻塞，而无法及时处理事件的情况。所以，当 processEventsWhileBlokced 函数执行处理客户端可读事件时，这些客户端读操作是不会被推迟执行的。

条件四：客户端现有标识不能有 CLIENT_MASTER、CLIENT_SLAVE 和 CLIENT_PENDING_READ

其中，CLIENT_MASTER 和 CLIENT_SLAVE 标识分别表示客户端是用于主从复制的客户端，也就是说，这些客户端不会推迟读操作。CLIENT_PENDING_READ 本身就表示一个

客户端已经被设置为推迟读操作了，所以，对于已带有 CLIENT_PENDING_READ 标识的客户端，postponeClientRead 函数就不会再推迟它的读操作了。

总之，只有前面这四个条件都满足了，postponeClientRead 函数才会推迟当前客户端的读操作。具体来说，postponeClientRead 函数会给该客户端设置 CLIENT_PENDING_REA 标识，并调用 listAddNodeHead 函数，把这个客户端添加到全局变量 server 的 clients_pending_read 列表中。

我把 postponeClientRead 函数的代码放在这里，你可以看下。

复制代码

```
int postponeClientRead(client *c) {
    //判断IO线程是否激活，
    if (server.io_threads_active && server.io_threads_do_reads &&
         !ProcessingEventsWhileBlocked &&
        !(c->flags & (CLIENT_MASTER|CLIENT_SLAVE|CLIENT_PENDING_READ)))
    {
        c->flags |= CLIENT_PENDING_READ; //给客户端的flag添加CLIENT_PENDING_READ
        listAddNodeHead(server.clients_pending_read,c); //将客户端添加到clients_
        return 1;
    } else {
        return 0;
    }
}
```

好，现在你已经知道，Redis 是在客户端读事件回调函数 readQueryFromClient 中，通过调用 postponeClientRead 函数来判断和推迟客户端读操作。下面，我再带你来看下 Redis 是如何推迟客户端写操作的。

如何推迟客户端写操作？

Redis 在执行了客户端命令，要给客户端返回结果时，会调用 **addReply 函数**将待返回结果写入客户端输出缓冲区。

而在 addReply 函数的一开始，该函数会调用 **prepareClientToWrite 函数**，来判断是否推迟执行客户端写操作。下面代码展示了 addReply 函数对 prepareClientToWrite 函数的调用，你可以看下。

```
void addReply(client *c, robj *obj) {
    if (prepareClientToWrite(c) != C_OK) return;
    ...
}
```

复制代码

所以这里，我们继续来看下 prepareClientToWrite 函数。这个函数会根据客户端设置的标识进行一系列的判断。其中，该函数会调用 **clientHasPendingReplies 函数**，判断当前客户端是否还有留存在输出缓冲区中的数据等待写回。

如果没有的话，那么，prepareClientToWrite 就会调用 **clientInstallWriteHandler 函数**，再进一步判断能否推迟该客户端写操作。下面的代码展示了这一调用过程，你可以看下。

```
int prepareClientToWrite(client *c) {
    ...
    //如果当前客户端没有待写回数据，调用clientInstallWriteHandler函数
    if (!clientHasPendingReplies(c)) clientInstallWriteHandler(c);
    return C_OK;
}
```

复制代码

那么这样一来，我们其实就知道了，能否推迟客户端写操作，最终是由 clientInstallWriteHandler 函数来决定的，这个函数会判断两个条件。

条件一：客户端没有设置过 CLIENT_PENDING_WRITE 标识，即没有被推迟过执行写操作。

条件二：客户端所在实例没有进行主从复制，或者客户端所在实例是主从复制中的从节点，但全量复制的 RDB 文件已经传输完成，客户端可以接收请求。

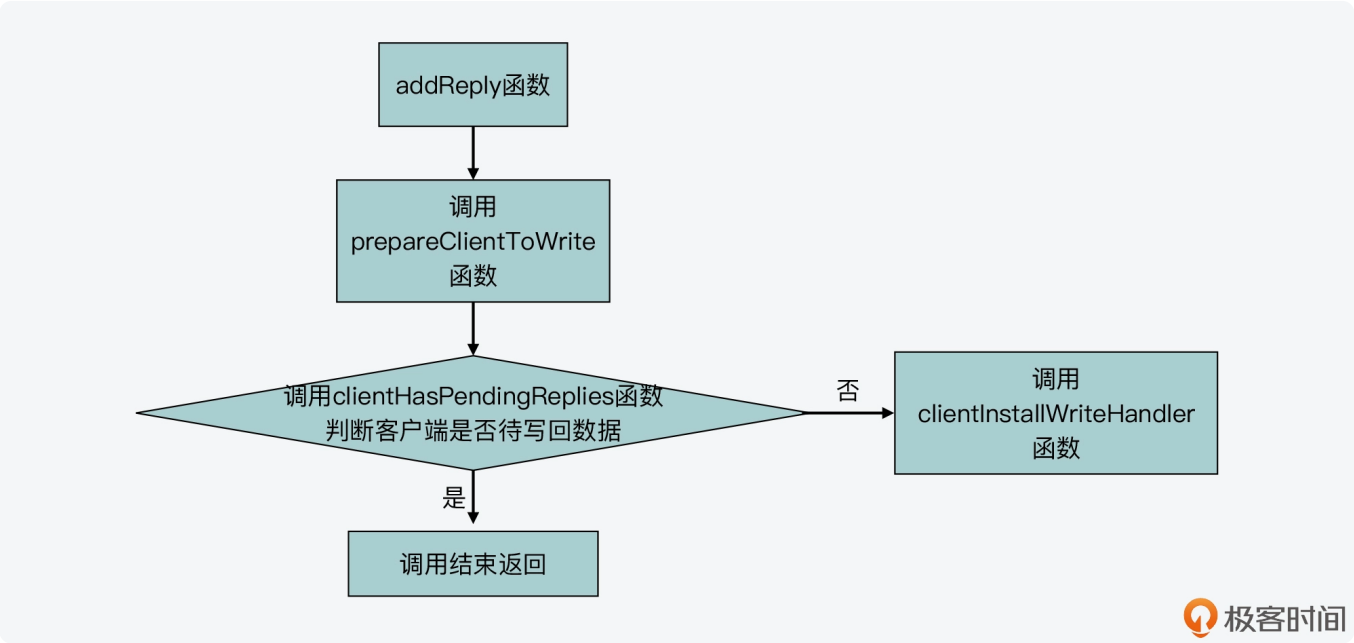
一旦这两个条件都满足了，clientInstallWriteHandler 函数就会把客户端标识设置为 CLIENT_PENDING_WRITE，表示推迟该客户端的写操作。同时，clientInstallWriteHandler 函数会把这个客户端添加到全局变量 server 的待写回客户端列表中，也就是 clients_pending_write 列表中。

```
void clientInstallWriteHandler(client *c) {
```

复制代码

```
    //如果客户端没有设置过CLIENT_PENDING_WRITE标识，并且客户端没有在进行主从复制，或者客
    if (!(c->flags & CLIENT_PENDING_WRITE) &&
        (c->replstate == REPL_STATE_NONE ||
         (c->replstate == SLAVE_STATE_ONLINE && !c->repl_put_online_on_ack)))
    {
        //将客户端的标识设置为待写回，即CLIENT_PENDING_WRITE
        c->flags |= CLIENT_PENDING_WRITE;
        listAddNodeHead(server.clients_pending_write,c);  //将可获得加入clients_
    }
}
```

为了便于你更好地理解，我画了一张图，展示了 Redis 推迟客户端写操作的函数调用关系，你可以再回顾下。



不过，当 Redis 使用 clients_pending_read 和 clients_pending_write 两个列表，保存了推迟执行的客户端后，**这些客户端又是如何分配给多 IO 线程执行的呢？**这就和下面两个函数相关了。

> handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数：该函数主要负责将 clients_pending_read 列表中的客户端分配给 IO 线程进行处理。
>
> handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数：该函数主要负责将 clients_pending_write 列表中的客户端分配给 IO 线程进行处理。

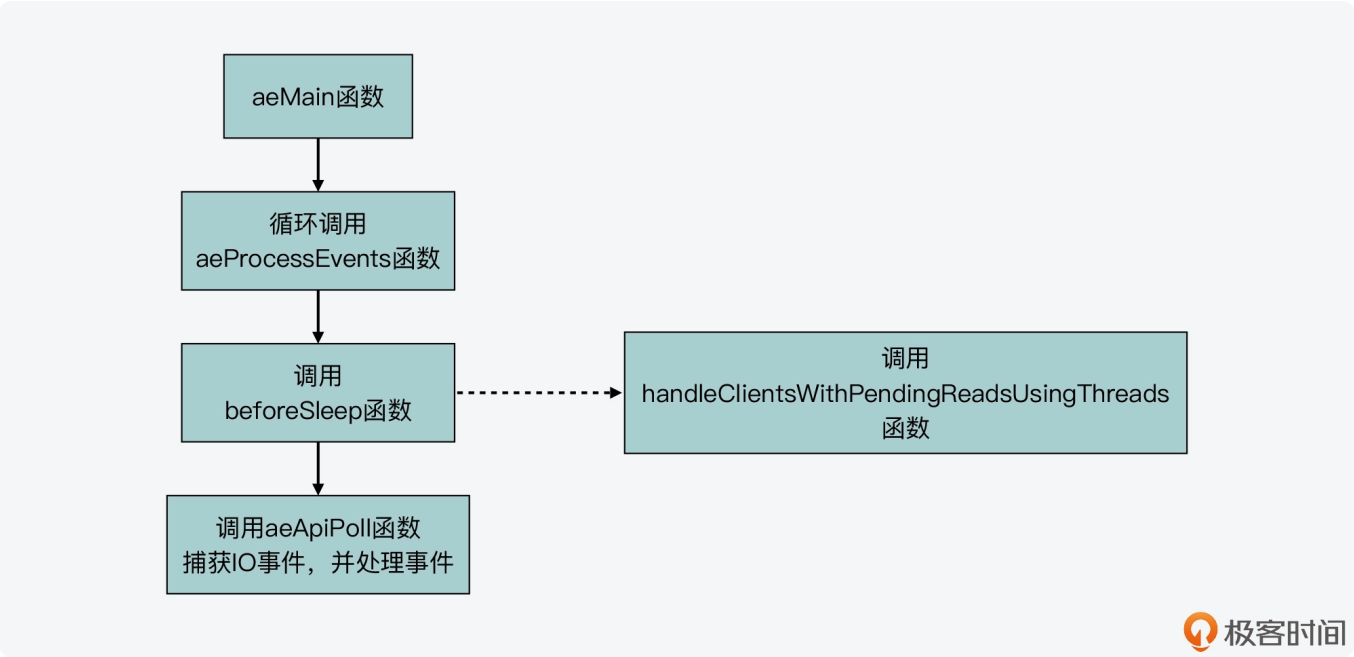
所以接下来，我们就来看下这两个函数的具体操作。

如何把待读客户端分配给 IO 线程执行？

首先，我们来了解 **handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数**。这个函数是在 beforeSleep 函数中调用的。

在 Redis 6.0 版本的代码中，事件驱动框架同样是调用 aeMain 函数来执行事件循环流程，该循环流程会调用 aeProcessEvents 函数处理各种事件。而在 aeProcessEvents 函数实际调用 aeApiPoll 函数捕获 IO 事件之前，beforeSleep 函数会被调用。

这个过程如下图所示，你可以看下。



handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数的主要执行逻辑可以分成四步。

第一步，该函数会先根据全局变量 server 的 io_threads_active 成员变量，判定 IO 线程是否激活，并且根据 server 的 io_threads_do_reads 成员变量，判定用户是否设置了 Redis 可以用 IO 线程处理待读客户端。只有在 IO 线程激活，并且 IO 线程可以用于处理待读客户端时，handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数才会继续执行，否则该函数就直接结束返回了。这一步的判断逻辑如以下代码所示：

复制代码

```
1 if (!server.io_threads_active || !server.io_threads_do_reads)
2 return 0;
```

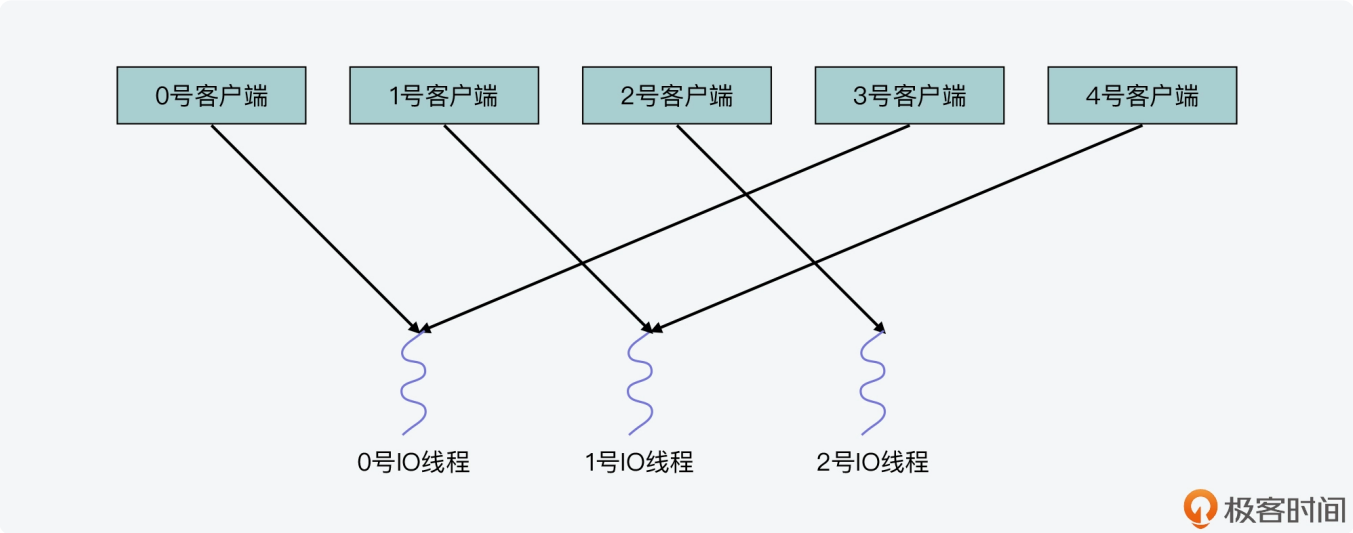
第二步，handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数会获取 clients_pending_read 列表的长度，这代表了要处理的待读客户端个数。然后，该函数会从 clients_pending_read 列表中逐一取出待处理的客户端，并用客户端在列表中的序号，对 IO 线程数量进行取模运算。

这样一来，我们就可以根据取模得到的余数，把该客户端分配给对应的 IO 线程进行处理。紧接着，handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数会**调用 listAddNodeTail 函数，把分配好的客户端添加到 io_threads_list 列表的相应元素中**。我刚才给你介绍过，io_threads_list 数组的每个元素是一个列表，对应保存了每个 IO 线程要处理的客户端。

为了便于你理解，我来给你举个例子。

假设 IO 线程数量设置为 3，clients_pending_read 列表中一共有 5 个待读客户端，它们在列表中的序号分别是 0，1，2，3 和 4。在这一步中，0 号到 4 号客户端对线程数量 3 取模的结果分别是 0，1，2，0，1，这也对应了即将处理这些客户端的 IO 线程编号。这也就是说，0 号客户端由 0 号线程处理，1 号客户端有 1 号线程处理，以此类推。你可以看到，这个分配方式其实就是把待处理客户端，以**轮询方式**逐一分配给各个 IO 线程。

我画了下面这张图，展示了这个分配结果，你可以再看下。



以下代码展示的就是以轮询方式将客户端分配给 IO 线程的执行逻辑：

复制代码

```
1 int processed = listLength(server.clients_pending_read);
```

```
listRewind(server.clients_pending_read,&li);
int item_id = 0;
while((ln = listNext(&li))) {
        client *c = listNodeValue(ln);
        int target_id = item_id % server.io_threads_num;
        listAddNodeTail(io_threads_list[target_id],c);
        item_id++;
 }
```

这样，当 handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数完成客户端的 IO 线程分配之后，它会将 IO 线程的操作标识设置为**读操作**，也就是 IO_THREADS_OP_READ。然后，它会遍历 io_threads_list 数组中的每个元素列表长度，等待每个线程处理的客户端数量，赋值给 io_threads_pending 数组。这一过程如下所示：

复制代码

```
io_threads_op = IO_THREADS_OP_READ;
for (int j = 1; j < server.io_threads_num; j++) {
        int count = listLength(io_threads_list[j]);
        io_threads_pending[j] = count;
}
```

第三步，handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数会将 io_threads_list 数组 0 号列表（也就是 io_threads_list[0]元素）中的待读客户端逐一取出来，并调用 readQueryFromClient 函数进行处理。

其实，handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数本身就是由 IO 主线程执行的，而 io_threads_list 数组对应的 0 号线程正是 IO 主线程，所以，这里就是让主 IO 线程来处理它的待读客户端。

复制代码

```
 listRewind(io_threads_list[0],&li);  //获取0号列表中的所有客户端
   while((ln = listNext(&li))) {
        client *c = listNodeValue(ln);
        readQueryFromClient(c->conn);
    }
    listEmpty(io_threads_list[0]); //处理完后，清空0号列表
```

紧接着，handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数会执行一个 while(1) 循环，等待所有 IO 线程完成待读客户端的处理，如下所示：

复制代码

```
while(1) {
        unsigned long pending = 0;
        for (int j = 1; j < server.io_threads_num; j++)
            pending += io_threads_pending[j];
        if (pending == 0) break;
    }
```

第四步，handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数会再次遍历一遍 clients_pending_read 列表，依次取出其中的客户端。紧接着，它会判断客户端的标识中是否有 CLIENT_PENDING_COMMAND。如果有 CLIENT_PENDING_COMMAND 标识，表明该客户端中的命令已经被某一个 IO 线程解析过，已经可以被执行了。

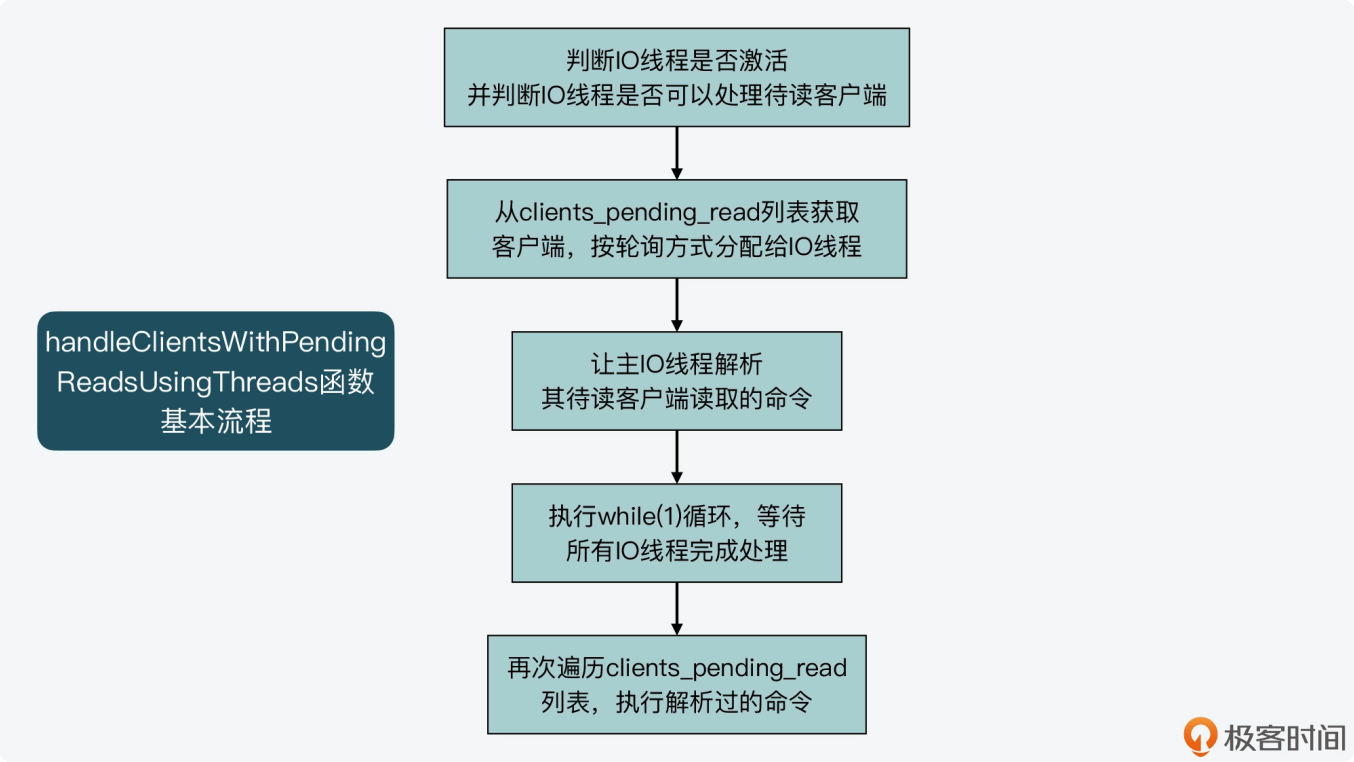
此时，handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数会调用 processCommandAndResetClient 函数执行命令。最后，它会直接调用 processInputBuffer 函数解析客户端中所有命令并执行。

这部分的代码逻辑如下所示，你可以看下。

复制代码

```
while(listLength(server.clients_pending_read)) {
        ln = listFirst(server.clients_pending_read);
        client *c = listNodeValue(ln);
        ...
        //如果命令已经解析过，则执行该命令
        if (c->flags & CLIENT_PENDING_COMMAND) {
            c->flags &= ~CLIENT_PENDING_COMMAND;
            if (processCommandAndResetClient(c) == C_ERR) {
                continue;
            }
        }
        //解析并执行所有命令
        processInputBuffer(c);
}
```

好了，到这里，你就了解了 clients_pending_read 列表中的待读客户端，是如何经过以上四个步骤来分配给 IO 线程进行处理的。下图展示了这个主要过程，你可以再回顾下。



那么，接下来，我们再来看下待写客户端的分配和处理。

如何把待写客户端分配给 IO 线程执行？

和待读客户端的分配处理类似，待写客户端分配处理是由**handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数**来完成的。该函数也是在 beforeSleep 函数中被调用的。

handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数的主要流程同样也可以分成 4 步，其中，第 2、3 和 4 步的执行逻辑，和 handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数类似。

简单来说，在第 2 步，handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数会把待写客户端，按照**轮询方式**分配给 IO 线程，添加到 io_threads_list 数组各元素中。

然后，在第 3 步，handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数会让主 IO 线程处理其待写客户端，并执行 while(1) 循环等待所有 IO 线程完成处理。

在第 4 步，handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数会再次检查 clients_pending_write 列表中，是否还有待写的客户端。如果有的话，并且这些客户端还有留存在缓冲区中的数据，那么，handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数就会调用 connSetWriteHandler 函数注册可写事件，而这个可写事件对应的回调函数是**sendReplyToClient 函数**。

等到事件循环流程再次执行时，刚才 handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数注册的可写事件就会被处理，紧接着 sendReplyToClient 函数会执行，它会直接调用 writeToClient 函数，把客户端缓冲区中的数据写回。

这里，**你需要注意的是**，connSetWriteHandler 函数最终会映射为 connSocketSetWriteHandler 函数，而 connSocketSetWriteHandler 函数是在 connection.c文件中实现的。connSocketSetWriteHandler 函数会调用 aeCreateFileEvent 函数创建 AE_WRITABLE 事件，这就是刚才介绍的可写事件的注册（关于 aeCreateFileEvent 函数的使用，你也可以再回顾下第 11 讲）。

不过，和 handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数不同的是在第 1 步，handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数，**会判断 IO 线程数量是否为 1，或者待写客户端数量是否小于 IO 线程数量的 2 倍。**

如果这两个条件中有一个条件成立，那么 handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数就不会用多线程来处理客户端了，而是会调用 handleClientsWithPendingWrites 函数由主 IO 线程直接处理待写客户端。这样做的目的，主要是为了在待写客户端数量不多时，避免采用多线程，从而**节省 CPU 开销。**

这一步的条件判断逻辑如下所示。其中，stopThreadedIOIfNeeded 函数主要是用来判断待写客户端数量，是否不足为 IO 线程数量的 2 倍。

复制代码

```
1 if (server.io_threads_num == 1 || stopThreadedIOIfNeeded()) {
2         return handleClientsWithPendingWrites();
3 }
```

另外，handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数在第 1 步中，还会**判断 IO 线程是否已激活**。如果没有激活，它就会调用 startThreadedIO 函数，把全局变量 server 的 io_threads_active 成员变量值设置为 1，表示 IO 线程已激活。这步判断操作如下所示：

```
1 if (!server.io_threads_active) startThreadedIO();
```

复制代码

总之你要知道的就是，Redis 是通过 handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数，把待写客户端按轮询方式分配给各个 IO 线程，并由它们来负责写回数据的。

小结

今天这节课，我给你介绍了 Redis 6.0 中新设计实现的**多 IO 线程机制**。这个机制的设计主要是为了使用多个 IO 线程，来并发处理客户端读取数据、解析命令和写回数据。使用了多线程后，Redis 就可以充分利用服务器的多核特性，从而**提高 IO 效率**。

总结来说，Redis 6.0 先是在初始化过程中，根据用户设置的 IO 线程数量，创建对应数量的 IO 线程。

当 Redis server 初始化完成后正常运行时，它会在 readQueryFromClient 函数中通过调用 postponeClientRead 函数来决定是否推迟客户端读操作。同时，Redis server 会在 addReply 函数中通过调用 prepareClientToWrite 函数，来决定是否推迟客户端写操作。而待读写的客户端会被分别加入到 clients_pending_read 和 clients_pending_write 两个列表中。

这样，每当 Redis server 要进入事件循环流程前，都会在 beforeSleep 函数中分别调用 handleClientsWithPendingReadsUsingThreads 函数和 handleClientsWithPendingWritesUsingThreads 函数，将待读写客户端**以轮询方式分配给 IO 线程**，加入到 IO 线程的待处理客户端列表 io_threads_list 中。

而 IO 线程一旦运行后，本身会一直检测 io_threads_list 中的客户端，如果有待读写客户端，IO 线程就会调用 readQueryFromClient 或 writeToClient 函数来进行处理。

最后，我也想再提醒你一下，**多 IO 线程本身并不会执行命令**，它们只是利用多核并行地读取数据和解析命令，或是将 server 数据写回（下节课我还会结合分布式锁的原子性保证，来给你介绍这一部分的源码实现。）。所以，**Redis 执行命令的线程还是主 IO 线程**。这一点对于你理解多 IO 线程机制很重要，可以避免你误解 Redis 有多线程同时执行命令。

这样一来，我们原来针对 Redis 单个主 IO 线程做的优化仍然有效，比如避免 bigkey、避免阻塞操作等。

每课一问

Redis 多 IO 线程机制使用 startThreadedIO 函数和 stopThreadedIO 函数，来设置 IO 线程激活标识 io_threads_active 为 1 和为 0。此处，这两个函数还会对线程互斥锁数组进行解锁和加锁操作，如下所示。你知道为什么这两个函数要执行解锁和加锁操作么？

复制代码

```
void startThreadedIO(void) {
    ...
    for (int j = 1; j < server.io_threads_num; j++)
        pthread_mutex_unlock(&io_threads_mutex[j]);  //给互斥锁数组中每个线程对应的
    server.io_threads_active = 1;
}

void stopThreadedIO(void) {
    ...
    for (int j = 1; j < server.io_threads_num; j++)
        pthread_mutex_lock(&io_threads_mutex[j]);  //给互斥锁数组中每个线程对应的互
    server.io_threads_active = 0;
}
```

欢迎在留言区分享你的答案和思考过程，如果觉得有收获，也欢迎你把今天的内容分享给更多的朋友。

分享给需要的人，Ta订阅后你可得 20 元现金奖励

赞 1 提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 12 | Redis真的是单线程吗？

下一篇 14 | 从代码实现看分布式锁的原子性保证

精选留言 (3)

写留言

Kaito

2021-08-24

1、Redis 6.0 之前，处理客户端请求是单线程，这种模型的缺点是，只能用到「单核」CPU。如果并发量很高，那么在读写客户端数据时，容易引发性能瓶颈，所以 Redis 6.0 引入了多 IO 线程解决这个问题

2、配置文件开启 io-threads N 后，Redis Server 启动时，会启动 N - 1 个 IO 线程（...

展开

3

可怜大灰狼

2021-08-24

networking.c中IOThreadMain方法有如下一小段代码：

```
/* Give the main thread a chance to stop this thread. */
if (getIOPendingCount(id) == 0) {
    pthread_mutex_lock(&io_threads_mutex[id]);
    pthread_mutex_unlock(&io_threads_mutex[id]);...
```

展开

1

Milittle

2021-08-24

课后题我的猜测：就是对于一个线程完整的释放和触发，启动线程，将线程的mutex释放，意味着你在这个线程中，去访问一些共享资源，那么你可以使用这个mutex。关闭线程，将线程的mutex获取，让线程中其他获取mutex的能力失效。一点猜测，不知道对不对。

展开